



HAL
open science

Application de la tomographie à rayons X à la caractérisation de la microstructure et des mécanismes d'endommagement d'un alliage AlSi7Cu3

Long Wang, Nora Dahdah, Nathalie Limodin, Ahmed El Bartali, Jean-Francois Witz, Jean-Yves Buffiere, David Balloy, Amina Tandjaoui, Philippe Quaegebeur, Eric Charkaluk

► To cite this version:

Long Wang, Nora Dahdah, Nathalie Limodin, Ahmed El Bartali, Jean-Francois Witz, et al.. Application de la tomographie à rayons X à la caractérisation de la microstructure et des mécanismes d'endommagement d'un alliage AlSi7Cu3. XIIe Colloque Rayons X et Matière, Nov 2017, Lille, France. pp.91. hal-01736338

HAL Id: hal-01736338

<https://hal.science/hal-01736338v1>

Submitted on 16 Aug 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Application de la tomographie à rayons X à la caractérisation de la microstructure et des mécanismes d'endommagement d'un alliage AlSi7Cu3

L.Wang¹, Z. Li¹, N. Dahdah¹, N. Limodin¹, A. El Bartali¹, J.-F. Witz¹,
J.-Y. Buffière², D. Balloy³, A. Tandjaoui¹, P. Quaegebeur¹ et E. Charkaluk¹

¹LML, FRE CNRS 3723, Cité Scientifique - CS20048, 59651 Villeneuve d'Ascq cedex, France

²MATEIS, UMR CNRS 5510, Avenue Jean Capelle, 69621 Villeurbanne cedex, France

³Univ. Lille, CNRS, INRA, ENSCL, UMR 8207 - UMET - Unité Matériaux et Transformations, F-59000
Lille, France

Courriel : nathalie.limodin@centralelille.fr

L'alliage AlSi7Cu3 fabriqué par le procédé à modèle perdu possède une microstructure complexe et multi-échelle. Afin d'étudier son rôle sur les mécanismes d'endommagement dans des conditions de chargement représentatives des conditions de service des culasses automobiles (20-250°C), il est nécessaire de caractériser cette microstructure et de réaliser des essais *in situ* sous tomographie par rayons X.

La tomographie de laboratoire permet de caractériser la distribution des pores (Figure 1) dont le diamètre de Féret peut dépasser 1mm. L'espace interdendritique contient ensuite trois phases plus rigides que les dendrites d'aluminium qui, de la plus épaisse à la plus fine, sont les intermétalliques au Cu (Figure 1.a), les intermétalliques au Fe (Figure 1.b) et le Si eutectique (Figure 1.c). A haute résolution, *i.e.* à une taille de voxel d'environ 1 μm , les réseaux d'intermétalliques peuvent être résolus et caractérisés en tomographie de laboratoire, ce qui a permis notamment de quantifier l'influence d'un traitement de mise en solution à 495°C sur la dissolution des intermétalliques au Cu [1]. Cependant, la différence de coefficient d'atténuation entre Al et Si n'étant pas suffisante, la caractérisation du Si eutectique requiert un contraste de phase qui n'est possible qu'avec une source synchrotron.

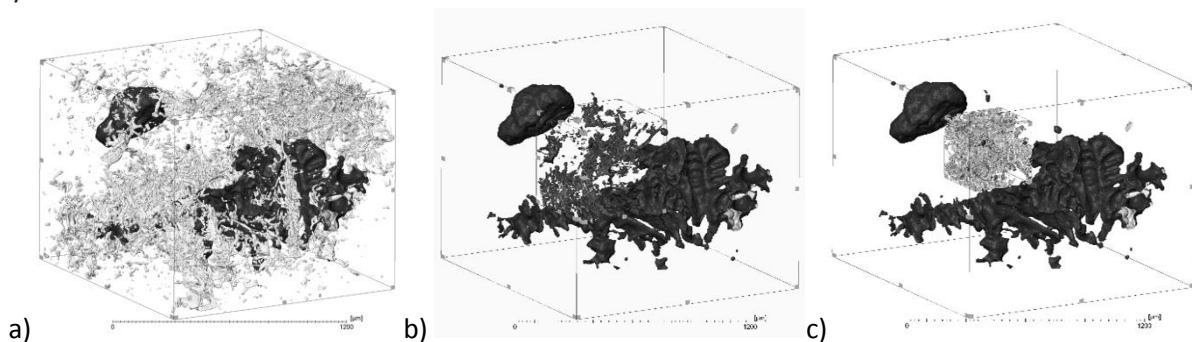


Figure 1. Rendu 3D à partir d'images de tomographie synchrotron (voxel=1.6 μm) : (a) des pores (gris foncé) et des intermétalliques au Cu (gris clair) et, dans deux sous-volumes, (b) des intermétalliques au Fe et (c) du Si eutectique.

Des essais de traction monotone sous tomographie de laboratoire ont confirmé la compatibilité de l'alliage avec la technique de Corrélation d'Images Volumiques (CIV). La CIV permet de mesurer les champs de déplacements entre deux images d'un échantillon à différentes étapes de la sollicitation ; la résolution et l'incertitude dépendent cependant étroitement de l'existence de marqueurs naturels dans le matériau. Le mouchetis formé par les pores et les intermétalliques [2,3] permet d'accéder aux champs de déformations au voisinage des pores et un bon accord est observé entre un calcul éléments finis réalisé sur un modèle numérique 3D des pores dans une matrice d'aluminium et la mesure de champs par CIV. L'amorçage des fissures se produit quasi systématiquement au voisinage des pores en interne où les déformations mesurées sont les plus grandes. Une hétérogénéité des champs est aussi observée au niveau des intermétalliques avec une bonne corrélation entre ces localisations et la fissuration.

Pour atteindre des durées d'acquisition compatibles avec celles des essais et pouvoir observer le Si eutectique, les essais de fatigue oligocyclique ont été réalisés in-situ sous tomographie synchrotron. Les dispositifs développés ont permis de faire des essais à température ambiante mais aussi à 250°C [4]. L'amorçage et la propagation des fissures sont suivis en volume dans l'échantillon à différents stades de sa durée de vie. Ces observations sont ensuite corrélées aux champs de déformations 3D obtenus par CIV. L'incertitude de la CIV est plus faible en tomographie synchrotron qu'en tomographie de laboratoire du fait d'un mouchetis plus riche grâce au Si observé par contraste de phase [5]. L'utilisation de la tomographie et des essais in-situ couplés à la CIV permet une meilleure compréhension des mécanismes agissant à l'échelle de la microstructure. Les fissures s'amorcent généralement au cours du premier cycle en sous surface près des zones de forte courbure des pores [3], mais aussi sur des inclusions rigides situées au voisinage des pores. Ensuite, ces fissures se propagent suivant les inclusions rigides où la déformation cumulée de von Mises augmente (Figure 2). Ce scénario dépend de la température. À température ambiante, l'amorçage est gouverné par la porosité tandis que la propagation est corrélée avec les phases rigides dans l'espace interdendritique. En revanche, à 250°C, les particules de Si rompent massivement et la propagation est pilotée par la coalescence de ces microfissures dans la zone la plus sollicitée de l'échantillon, *i.e.* entre ou près des pores les plus grands.

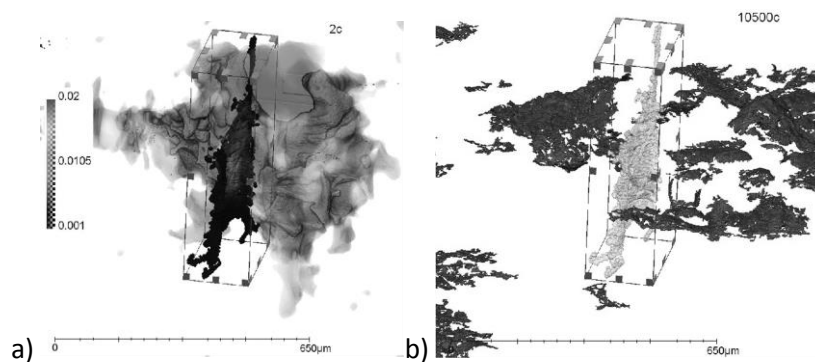


Figure 2. (a) Champs de déformation de von Mises mesuré après 2 cycles de fatigue et projeté sur une particule d'intermétallique au Cu près du pore où des fissures se sont amorcées montrant le lien entre la localisation (gris clair au centre de la particule) et (b) la fissure (en noir) à 10500 cycles.

Remerciements : Les auteurs remercient l'Agence Nationale de la recherche (projet INDiANA, ANR-12RMNP-0011) et PSA Peugeot Citroën pour le financement de cette étude et le China Scholarship Council pour le financement des thèses de Long Wang et Zaidao Li. Les synchrotrons SLS et ESRF sont également remerciés pour les temps de faisceaux accordés sur TOMCAT et ID19, respectivement.

- [1] Li, Z. Influence of the microstructure on mechanical properties and damage mechanisms in Al-Si-Cu alloys by using 2D and 3D in-situ analysis. (Lille 1, 2016).
- [2] Limodin, N. et al. Application of X-ray microtomography to study the influence of the casting microstructure upon the tensile behaviour of an Al-Si alloy. Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sect. B Beam Interact. Mater. At. **324**, 57–62 (2014).
- [3] Wang, L. et al. Influence of pores on crack initiation in monotonic tensile and cyclic loadings in lost foam casting A319 alloy by using 3D in-situ analysis. Mater. Sci. Eng. A **673**, 362–372 (2016).
- [4] Dezecot, S. et al. In situ 3D characterization of high temperature fatigue damage mechanisms in a cast aluminum alloy using synchrotron X-ray tomography. Scr. Mater. **113**, 254–258 (2016).
- [5] Dahdah, N. et al. Damage Investigation in A319 Aluminium Alloy by X-ray Tomography and Digital Volume Correlation during In Situ High-Temperature Fatigue Tests. Strain **52**, 324–335 (2016).

Veillez indiquer les coordonnées de la personne à contacter :

Nom : Limodin **Prénom :** Nathalie **Courriel :** nathalie.limodin@centraledlille.fr

Veillez indiquer le thème de votre présentation :

- Relations structure-propriétés
- Microstructure / Texture / Contraintes
- Fluorescence X / Profilométrie chimique
- Diffusion aux petits et aux grands angles
- Basse énergie /spectroscopie
- RX et matériaux du nucléaire
- Couches minces et interfaces
- *In situ* / Operando
- Instrumentation : nouveaux détecteurs, nouvelles pratiques
- Instrumentation : présentations des constructeurs
- Tomographie

Veillez indiquer votre mode de présentation préféré :

- Communication orale
- Poster
- Aucune préférence